



チベット高原の積雪と凍土の観測

1. はじめに

チベット、ヒマラヤの大陸地表面とインド洋などの周辺海洋との相互作用の結果、我が国を始め東南アジア諸国の気候に大きな影響を与えるアジアモンスーンが発現するが、その年々変動はアジア地域だけでなく、地球全体の気候にも影響を与えている。また、チベット高原を含むユーラシアの積雪と凍土は、大気との熱・水交換を介して、このような気候形成に重要な役割を果たしていることが最近明らかになってきた。

このような背景のもとで、海洋開発及地球科学技術調査研究促進費による「アジアモンスーン機構に関する研究」が平成元年に開始された。この研究は、観測、モデル、解析などの研究分野からなり、防災科学技術研究所のほかに、気象研究所、通信総合研究所などの研究機関が参加している。新庄雪氷防災研究支所は、チベット高原の積雪と凍土の観測を担当し、平成3年度からこの研究に参加している。

筆者は、木村忠志前新庄雪氷防災研究支所長の後を引き継ぎ、平成5年以来、毎年夏に観測装置の点検などのためチベットへ出かけている。ここでは、研究や現地の様子を紹介してみたい。

2. 日中共同研究の体制

この研究では、平成5年1月に科学技術庁と中国気象局（当時は中国国家気象局）の間で取り交わされた共同研究の実施取極に基づき、それぞれの研究テーマごとに、日本側と中国側の担当研究機関（中国気象局所属）が共同研究を実施している。研究範囲が広範なため、毎年3月（今年度は12月）に日中双方の研究担当者による合同作業部会を開催し、その年度の研究の総括と次年度の研究計画を話し合っ

ている。

チベット高原における観測的研究の中国側担当機関は中国気象科学研究院であるが、保守やデータ回収等の作業は成都気象学院が行い、また、日常的な点検は現地の気象台が行っている。チベット高原では当支所のほか、気象研究所が接地気象や土壌水分の観測を行っている。

3. これまでをふりかえって

平成5年3月の第1回合同作業部会では、観測計画について話し合った。こちらは、チベット高原の3ヵ所に設置する積雪重量と土壌の凍結深度の自動観測装置を用意しており、観測場所としてできるだけ積雪が多く、また凍土の発達するところを希望していたが、保守点検が容易で交通の便の良い所という中国側の意見を入れて、ラサ、シガセ、ナチュにある気象官署の構内を観測候補地とし、ラサについてはその年の夏の現地視察の結果決定することで合意した（図1）。

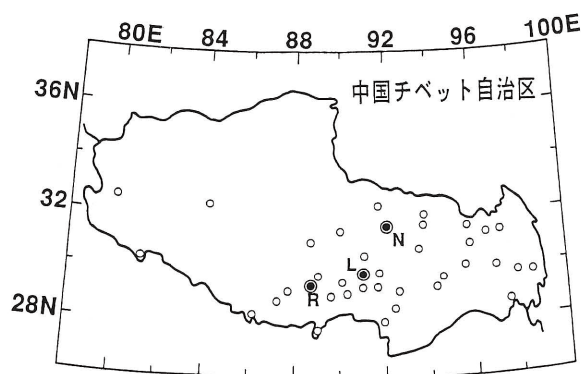


図1 積雪・凍土の自動観測装置の設置地点（●）と気象台（○）。

L：ラサ、R：シガセ、N：ナチュ。

その後、日本からの観測装置の発送を慌たしく終え、6月中旬から約2週間、成都気象学院において、装置の操作、点検、データ回収などのトレーニングを行った。トレーニングは、気象研究所の担当者である萩野谷成徳主任研究官と合同で行い、中国側からは成都気象学院のスタッフとチベットの気象台の職員が参加した。四川盆地にある成都是、日本と同様に梅雨の時期で、連日最高気温が30℃を超える蒸し風呂のような天候であった。

トレーニングを終えた後、成都から空路ラサへ向かった。飛行機は一路西に飛び、2時間の飛行中に眼下の風景はめまぐるしく変化した。四川盆地の西方の山々は深い緑に覆われているが、次第に緑が少なくなり茶色の山並みとなる。運が良ければ雲の間から氷河が手に取るように見える。ラサ郊外のコンガ空港はチベット高原の大河であるヤルツァンボ河の中州にある。中州にこそ柳の木が生えていたが、周囲の山々は荒涼たる岩山で、月面に着陸すればかくの如きかと感じた。成都とはうって変わって、青い空と強烈な日差し、そして乾いた空気、まるで日本の秋晴れのような天気であった。空港からラサ市内までは100kmの道のりである。ラサは、ヤルツァンボ河の支流であるラサ河のほとりに開けたチベットの中心都市で、人口は約100万人、ラマ教の聖地でもあり街は活気にあふれている。地下水位が数mと高く、木々も多い。この日はまる1日ホテルで休養したが、高山病の症状を軽くするには水分補給が一番良いとのことで、お茶ばかり飲んでみた。しかし、夕方から頭痛が激しくなってきた。ラサの標高は3600mで、いきなり富士山頂に連れてこられたようなものである。高山病にならないわけがない。

翌日、頭痛に耐えながらも歓迎レセプション出席、打ち合わせ、観測候補地の視察などをこなした。3日目からは頭痛も軽くなってきたので、気象研究所の気象観測装置と我々の雪氷観測装置の設置を開始した。日中は打ち合わせと設置作業、夜は中国側担当者にわかりやすいように設置、点検、データ回収のマニュアルを作成するなどした。しかし、この間の無理がたたったためか、ラサ到着4日後の朝、めまいが激しくベッドから起きることできなくなってしまった。結局その日は丸1日休み、翌日から何とか現場に行き、いすに座って作業の監督をする有様となり、高地での作業には十分余裕のある日程が必要であることを思い知らされた。

このようにして、平成5年夏に観測が無事開始された(写真1)。我々の観測点は、広大なチベット高原(チベット自治区とその北の青海省にまたがる)の一角にある。図1の白丸は気象台がある地点で、気象台によって観測項目の多少はあるものの、ルーチンの地上気象観測が行われている。ただし、積雪重量はほとんど観測されておらず、また、凍土の観測もすべての気象台で行われているわけではない。また、これまでに観測値が外国に公開されているのは、ラサだけである。このような状況下で、我々の観測で得られる積雪重量と凍結深度のデータは貴重なものである。さらに、今後リモートセンシングなどで広域的な積雪、凍土の観測を行うときのグランドトゥールースとしても利用可能と思われる。

翌年以降、ラサのほかにシガセとナチュの観測点を視察することができた。シガセはラサの西方約300kmにあり、車で1日かけて行く。ヤルツァンボ河沿いの道路は、所々崖崩れなどで途切れてはいるが、一応舗装されている。シガセはチベット第2の都市であるが、ラサに比べればだいぶ小さい町である。気象台の構内に設置した観測装置の管理は行き届いているようであった。滞在中、ダンスパーティに招待されたが、ダンスホールは気象台が経営しているとのことであった。中国では研究所が事業をしているという話は聞いたことがあったが、これには驚いた。そういえば、成都気象学院の構内にもアドバルーンを使った広告の会社があった。

ナチュへは、ラサから青蔵公路を北に車で1日がかりの行程で、距離は約350kmである。この道は、



写真1 ラサ気象台構内に設置した積雪重量計と凍結深度計。

ラサと青蔵省のゴルムドを結ぶ物資輸送の大動脈で、荷物を満載したトラックとよくすれ違った。ラサを出発して2時間ほど狭い谷あい进行するが、車中からは、菜の花畑の黄、木々の緑、岩山の茶や赤茶、5000m級の山の頂を覆う雪の白など様々な色を楽しめた。チベット・ヒマラヤの隆起を思わせる断層や褶曲がすぐそばで見られる所もあった。谷を抜けると、しばらくはニエンチェンタングラ山脈を左に見ながら走る。山裾からなだらかな平地が広がり、所々にヤクや羊の群とともに放牧民のテントが見られる。さらにナチュに近づくと、これまでの光景とは代わり緩やかな丘陵地帯となる。小さな湖が遠くに光り、チベット高原を代表する地形である（写真2）。ナチュの標高は4500mでラサよりさらに高い。2年目以降は、ラサに到着してから丸2日休養し、その後数日作業をしてからナチュへ出発したため、高所に順応し頭痛もそれほどではなかった。しかし、さすがに空気は薄く、大声を出したり、しゃがんだ姿勢から立ち上がるだけで息が切れた。気温も低く、7月でも日差しがなくなるとセーターなどの防寒具を必要とした。この時期はホテルの暖房はなく、寝るときは日本の冬と同じくらいの布団を掛けていた。

このように、毎年6月から7月にかけて日本から出かけて、観測点の視察と装置の点検などを行っているが、その間は成都気象学院のスタッフと観測装置を設置しているところの気象台の職員に保守をお願いしている（写真3）。このような体制で観測を行っているため、装置に異常があった場合でも連絡がスムーズに行かなかったり、対応が遅れたりして、国内と同じような能率的な観測というわけには行か

ない。これらを克服するための連絡体制の確立から個人的な意志疎通の問題まで、合同作業部会の席上、あるいは訪中のたびに改善するよう努めている。

4. チベット高原の積雪と凍土

図2は平成7年1月から2月にかけてナチュで観測された積雪重量（上段）とルーチン観測で得られた積雪深（下段）である。ナチュでは降雪の頻度はあまり多くなく、積雪も長続きしない。積雪深も10cm程度以下で、日本の雪国の積雪とはかなり違う。このため、積雪重量の値も非常に小さく、わずかの積雪の時は検出されないこともある。積雪重量と積雪深から求めた積雪密度は $0.1\text{g}/\text{cm}^3$ 程度で推移することがわかった。すなわち、寒候期においては低温と少ない積雪のため、積雪の圧密があまり進行せず、新雪の密度のまま継続すると考えられる。ラ



写真3 中国側担当者による点検作業。



写真2 ナチュに近づくと緩やかな丘陵が広がる。遠くにニエンチェンタングラ山脈が見える。

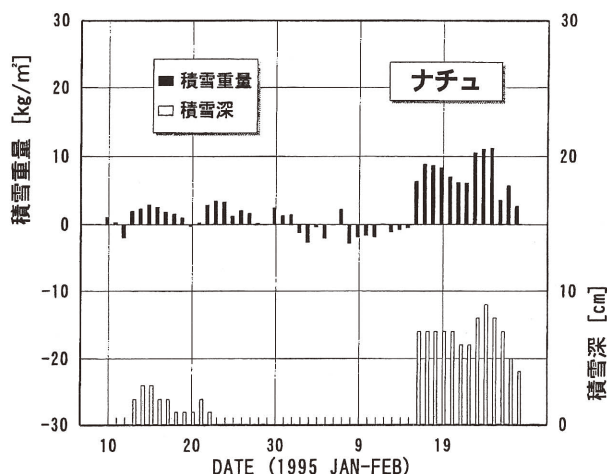


図2 ナチュにおける積雪重量と積雪深の変化。

サとシガセでは降雪はきわめてまれであった。

我々が観測している3地点はいずれも季節凍土地帯にあり、凍土は秋から形成され春には消滅する。最大凍結深は、ラサ、シガセ、ナチュの順に大きくなり、ナチュでは1.5mから2mの範囲にある。これまでの観測から、前の夏の降水量が多い年の最大凍結深は大きい傾向が得られているが、今後のデータの蓄積と気象研究所が測定している土壌水分の観測値などから、その理由を明らかにしてみたいと思っている。

ナチュにおける93/94冬期と94/95冬期のルーチンデータや、気象研究所の観測データなどから、凍土の形成過程における土壌の熱収支的解析を行ったところ、冬期といえども日射が強いために、正味放射は正、すなわち地面が放射熱を獲得するセンスで、土壌の冷却と凍土の形成は、地表面が失う顕熱と蒸発の潜熱によっていることがわかった。土壌の水分が氷になるときに解放される潜熱は、冬期間の土壌の冷却をかなり緩和する作用をしていることもわかった。

これらの結果は、本年12月に京都で開催される「モンスーンアジアの気候システムに関する国際ワークショップ」で発表する予定である。

5. 今後の研究

この共同研究では、これまでに入手が困難であったチベット高原のルーチン観測データの利用が可能である。今後はもう少し広域的な視野から、ルーチンデータに基づく積雪と凍土の変動などの解析にも力を入れていきたい。また、気象研究所とも協力して、積雪、凍土の熱収支的解析を進める予定である。

現在、「アジアモンスーン機構に関する研究」のほかに、チベット高原における水・エネルギー循環を解明するための国際研究プロジェクトである「GAME」が開始されており、平成10年夏の集中観測を目指している。我々の観測とも密接な関係があることから、協力していきたいと考えている。

6. おわりに

この研究のように海外に現場を持つ観測的研究を共同で実施するには、相互の意志疎通から物資の輸送、さらには高山病の心配まで、いろいろな困難を伴う。今後、雪氷研究の分野でもますます海外での共同研究の機会が増えるのであろうが、この研究での経験を生かしていきたいと思うとともに、制度的にも海外へ気楽に出かけ、身軽に活動できるようになればと願っている次第である。

最後に、中国出張や中国の研究者の招聘に際しては、管理部企画課、庶務課、会計課のお世話になっている。この場を借りてお礼申し上げます。

(新庄雪氷防災研究支所 佐藤 威)

山地積雪観測網と95/96冬期の積雪深分布

1. はじめに

低標高域における積雪については、アメダスや雪氷防災に係わる機関等によって多数の地点で観測が

行われている。しかしながら、標高の高い地域においては、観測の困難さや住民生活に直接影響しないこと等から、全国的な観測はこれまで実施されなかった。山地の雪は、冬期間は殆ど融解することなく